



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

# Grao en Bioloxía

## Memoria del Trabajo de Fin de Grado

**Revisión bibliográfica: Uso de microorganismos como  
biorremediadores de efluentes textiles contaminados por  
colorantes azoicos**

**Revisión bibliográfica: Uso de microorganismos como  
biorremediadores de efluentes téxtiles contaminados por  
colorantes azoicos**

**Literature review: Use of microorganisms as bioremediators of  
textile effluents contaminated by azo dyes**

**Martín Fernández Garrote**

Septiembre, 2020

Directora Académica:

María Ángeles Cid Blanco

## ÍNDICE

Resumen y palabras clave.....	3
1. Introducción.....	4-6
2. Objetivos.....	7
3. Material y métodos.....	7
4. Resultados.....	7-10
5. Discusión.....	11
6. Conclusiones.....	12-13
7. Bibliografía.....	14-17
Agradecimientos.....	13

## **RESUMEN**

Una de las industrias más contaminantes del planeta es la industria textil, esto se debe al enorme consumo de agua que necesitan todos los procesos de teñido y lavado. Los colorantes más usados son los colorantes azoicos que, de liberarse a la naturaleza, pueden degradarse en compuestos carcinogénicos. El uso de hongos lignolíticos demuestra una alta eficacia biodegradativa frente a colorantes azoicos, siendo viable su uso en efluentes textiles contaminados. El desarrollo de esta tecnología es importante ya que podría conseguir que la industria textil fuera más sostenible y causara el menor perjuicio posible en el resto de los recursos.

## **RESUMO**

Unha das industrias máis contaminantes do planeta é a industria téxtil, isto débese ó enorme consumo de auga que necesitan todos os procesos de tinguido e lavado. Os colorantes máis usados son os colorantes azoicos que, de liberarse á natureza, poden degradarse en compostos carcinoxénicos. O uso de fungos lignolíticos ten demostrado unha alta eficacia biodegradativa fronte a colorantes azoicos, sendo viable o seu uso en efluentes téxtiles contaminados. O desenrolo desta tecnoloxía é importante xa que podería conseguir que a industria téxtil fora máis sostible e causara o menor prexuízo posíbel no resto de recursos.

## **SUMMARY**

One of the most polluting industries on the planet is the textile industry, this is due to the enormous consumption of water required by the dyeing and washing processes. The most used dyes are azo dyes that, if released into nature, can degrade into carcinogenic compounds. The use of lignolytic fungi shows a high biodegradative efficacy against azo dyes, its use being viable in contaminated textile effluents. The development of this technology is important because it could make the textile industry more sustainable and cause the least possible damage on the other resources.

## **PALABRAS CLAVE**

biodegradación, hongos lignolíticos, biorreactores, industria textil, colorantes azoicos

## **PALABRAS CLAVE**

biodegradación, fungos lignolíticos, biorreactores, industria téxtil, colorantes azoicos

## **KEYWORDS**

biodegradation, lignolytic fungi, bioreactors, textile industry, azo dyes

## 1. Introducción

La industria textil tiene una importancia capital en un mundo que no para de crecer y que ya sufre las consecuencias de la sobrepoblación (United Nations, 1999). Sufrimos un grave problema de sobrepoblación (United Nations, 1999) y los recursos son y serán cada vez más escasos (United Nations, 1999). Ante este panorama la viabilidad de los ecosistemas está en jaque y la tecnología tiene que avanzar para conseguir que la industria sea lo más beneficiosa posible.

La industria textil es especialmente contaminante, este tipo de industria produce más del 8% de los gases de efecto invernadero (Cyril Villemain, 2019), la industria mundial usa 93 000 millones de metros cúbicos (93 000 000 000 000 de litros) de agua cada año (Cyril Villemain, 2019), el 93% del agua que llega a la fábrica sale coloreada y contaminada por metales pesados o compuestos orgánicos (Gupta et al., 2015).

Como ya se ha explicado esta industria es una de las más contaminantes a nivel global, pero también de las más productivas ya que mueve en todo el globo más de 432 mil millones de dólares al año (United Nations, 2005).

Se ha de tener en cuenta la importancia económica de esta industria, hay países que son muy dependientes de la industria textil como Pakistán donde el 47% de sus exportaciones son de la industria textil (United Nations, 2005). Por lo tanto, los avances tecnológicos no solo deben tener en cuenta la sostenibilidad del medio ambiente, sino que también deben tener en cuenta la sostenibilidad de las sociedades humanas que se articulan sobre focos industriales donde el textil es de primerísima importancia.

Dentro de la industria textil destaca la coloración de telas, se estima que se usan hasta 80000 toneladas de colorantes anualmente (Balan & Monteiro, 2001; Gupta et al., 2015). La tinción es un proceso tecnológico que requiere de mucha agua, hasta 350L por kilo de producto (Bilińska et al., 2016). Esto se debe a que tanto en el proceso de hilado, como en el de tejido, como en el teñido, como en la propia confección de la ropa y en el estampado es necesario el uso de agua por diferentes tipos de baños, lavados y aclarados (Luna & Angel, 2001)

Se estima que hay más de 10000 colorantes distintos y gran parte de ellos son colorantes sintéticos, dentro de los colorantes sintéticos destacan los conocidos como colorantes azoicos. Los colorantes tienen una eficacia baja, se estima que hasta el 15% del producto usado no se fija al tejido y es liberado al medio ambiente (Elisangela et al., 2009; Plumb et al., 2001)

Los colorantes azoicos (figura 1) son los más consumidos del mundo (Page & Püntener, 2012), cerca del 70% de los colorantes pertenecen a este grupo (Thakur et al., 2018). Son usados tanto en la industria textil como en la farmacéutica (Wu et al., 2020) y en la alimentaria (Ren et al., 2019). En su estructura destaca un grupo funcional conocido como grupo azo. El grupo azo está formado por un doble enlace de nitrógeno que une dos radicales (véase figura 1). Usualmente uno de los radicales o ambos presentan algún compuesto aromático (naftoles, naftilaminas etc.) (Marcano, 2018). Es el anillo aromático lo

que absorbe luz del espectro visible para estabilizar sus electrones deslocalizados (Page & Püntener, 2012). La presencia de un mayor número de grupos azo hace que el color se torne más oscuro. La estructura asociada a los anillos aromáticos es lo que le confiere distintos tipos de colores al colorante.

Es por ello, por la grandísima variedad de estructuras posibles, que haya tantos tipos distintos de colorantes, se clasifican en 7 tipos: ácidos, básicos, directos, reactivos, dispersos, mordantes y solventes (Gutiérrez, 2006). Ejemplos comerciales son: Red Congo, Direct Blue 1, Red HE7B, Orange II etc.

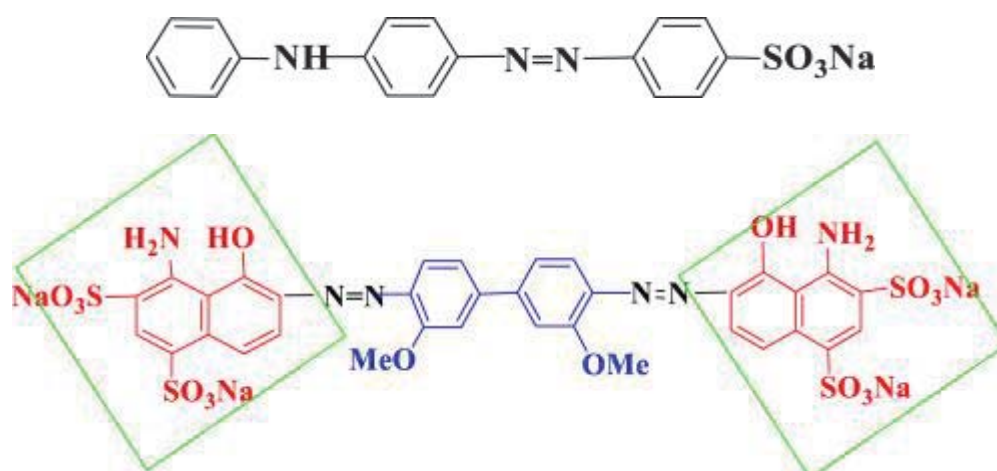


Figura 1 Ejemplos de colorantes azoicos. Arriba "ORANGE IV". Abajo "BLUE DIRECT DYE" (Benkhaya et al., 2020).

Los colorantes azoicos son los más usados ya que son relativamente baratos, se fijan mejor que otros colorantes, son fáciles de aplicar y hay una gran variedad de colores disponibles (Vikrant et al., 2018). Debido a su naturaleza recalcitrante la degradación de estos colorantes es difícil (Espinoza et al., 2020), pero puede ocurrir tanto en ambientes anaerobios como en ambientes aerobios. Se ha demostrado que es más difícil que se degraden en ambientes aerobios (Vikrant et al., 2018), esto es debido a la fuerte polaridad de los grupos azo que en algunos casos les protege de las oxigenasas (Plumb et al., 2001).

Los colorantes azoicos no son peligrosos por si mismos, pero tras un proceso de biotransformación bajo condiciones reductoras su degradación es muy peligrosa ya que puede ser precursora de aminas aromáticas altamente tóxicas que ponen en peligro tanto a los animales acuáticos como a los humanos. (Gaviria-Arroyave et al., 2018; Page & Püntener, 2012; Vikrant et al., 2018). Solo algunos colorantes azoicos se degradan en aminas aromáticas carcinógenas (Marcano, 2018). Debido a esto algunos tipos de colorantes azoicos han sido prohibidos en la Unión Europea (Page & Püntener, 2012).

La contaminación por colorantes azoicos ha demostrado ser visible incluso a bajas concentraciones menores a 1 mg por litro (Plumb et al., 2001). El agua se ve coloreada y esto conlleva no solo un efecto estético sino también una perturbación en la correcta oxigenación del agua lo que implica un desajuste en las cadenas tróficas (Gupta et al., 2015).



Además se ha demostrado que los colorantes azoicos tienen efectos adversos en el oxígeno disuelto (DO), la demanda biológica de oxígeno (BOD) y la demanda química de oxígeno (COD) (Sen et al., 2016).

Uno de los avances tecnológicos que más puede ayudar en la degradación de estos colorantes es el uso de microorganismos. Se han estudiado tanto hongos como bacterias siendo más efectivos los hongos ya que las aminas resultantes de la degradación de los grupo azo pueden intervenir en la viabilidad de algunas bacterias (Qu et al., 2010). Sin embargo, los hongos lignolíticos han demostrado una gran eficacia contra multitud de colorantes (Gaviria-Arroyave et al., 2018; Jurado et al., 2011; Martins et al., 2003). Los hongos lignolíticos (figura 2), también conocidos como hongos de la podredumbre blanca, son hongos pertenecientes a la división Basidiomycete que se caracterizan por digerir la madera, son capaces de digerir compuestos orgánicos complejos (como la lignina y la celulosa) debido a un sistema catalítico extracelular de enzimas lignolíticas entre las que destacan las lacasas y las peroxidasas (Sen et al., 2016). Este sistema enzimático es lo que hace que los hongos lignolíticos sean de gran interés en estudios de biorremediación (Asadi et al., 2020).

Algunos hongos comunes en estos estudios son: *Phellinus gilvus* (Balan & Monteiro, 2001) *Bjerkandera* sp. (Gaviria-Arroyave et al., 2018), *Irpex lacteus* (Tavčaret al., 2006), *Trametes versicolor* (Pezzella et al., 2017), especies del género *Pleurotus* (Abadulla et al., 2000; Martins et al., 2003) etc.



Figura 2 Ejemplar de *Trametes versicolor* en su hábitat. Recuperado de [www.asternauta.com](http://www.asternauta.com) (2020)

## 2. Objetivos

El objetivo del presente trabajo es revisar los conocimientos actuales sobre el uso de hongos lignolíticos y su aprovechamiento como biorremediadores de efluentes textiles contaminados, dar a conocer las condiciones de cultivo más comunes, relatar la existencia de distintos biorreactores e intentar explicar la importancia del desarrollo y la investigación sobre estas nuevas tecnologías teniendo en cuenta el futuro próximo de la humanidad donde va a ser extremadamente necesario tanto una alta sustentabilidad de los procesos industriales como una gran productividad de los mismo debido a la sobrepoblación venidera.

## 3. Material y métodos

Se ha realizado una revisión bibliográfica para la cual se ha realizado una búsqueda de artículos filtrados por tema para que en el resultado de la búsqueda aparecieran artículos que tuvieran la palabra buscada o bien en el título, o entre las palabras clave o en el resumen, indistintamente. Las palabras de búsqueda han sido “textile industry”, “waste water”, “azo dye”, “ligninolytic fungi”. Se han usado mayoritariamente artículos sacados de Web of Science WOS (<http://wos.fecyt.es/>), ScienceDirect (<https://www.sciencedirect.com/>) y PubMed (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>). Además, se han sacado datos de informes de las Naciones Unidas, de su página web (<http://population.un.org/>).

## 4. Resultados

Dependiendo del tipo de estudio el microorganismo se puede determinar o bien por recolección en el agua de los efluentes industriales (Cui et al., 2016; Elisangela et al., 2009; Qu et al., 2010), o bien por donación de una especie o cepa ya conocida de una colección (Balan & Monteiro, 2001; Gaviria-Arroyave et al., 2018; Waghmodeet al., 2011). Los microorganismos recogidos del mismo efluente a tratar ya estarán adaptados a las condiciones del agua sobre la que se realizará el tratamiento (Wu et al., 2020) pero su caracterización es más compleja, aunque no es necesaria (Cui et al., 2016).

Un tipo de medio muy común para el mantenimiento o revitalización del hongo son los conocidos como medios mínimos. Un medio mínimo es aquel que guarda las condiciones mínimas de crecimiento adecuadas para el organismo con el fin de que el organismo desarrolle suficiente biomasa como para poder crear inóculos.

En el caso de los hongos lignolíticos es muy común el uso de medio con extractos de cereales (Gómez-Bertel et al., 2008), destaca el uso de medios MEA (medios con extracto de malta) (Gaviria-Arroyave et al., 2018; Levin et al., 2004). Un medio de mantenimiento típico sería: Agar (15 g/L), Glucosa (10 g/L), extracto de malta (3.5 g/L) y un pH ajustado en torno a 5,5 (Gaviria-Arroyave et al., 2018).

El pH ha de ser ligeramente ácido, pero no demasiado ya que es importante que el hongo se aclimate a las condiciones reales del efluente.

La preparación de inóculos consiste en hacer crecer el hongo en un medio normalmente líquido en unas condiciones similares a las del efluente. El objetivo de este paso es que el hongo aumente su biomasa para que el biorreactor sea operativo lo antes posible, además al hacer crecer el hongo en condiciones similares a las del efluente nos aseguramos de que el hongo esté aclimatado y que el paso al biorreactor sea lo menos agresivo posible. Para aclimatar al hongo se extrae una parte de micelio del medio sólido y se cultiva en algún tipo de medio líquido usualmente limitado en nitrógeno (Blánquez et al., 2004; Tavčar et al., 2006), una vez homogenizado se deja incubar entre 4 y 7 días (Martins et al., 2003).

Se usan medios limitados en nitrógeno porque el hongo va a usar el doble enlace de nitrógeno presente en los grupos azo como fuente de nitrógeno (Sen et al., 2016). Una vez ha crecido el hongo se preparan los inóculos, para ello se centrifuga el medio de aclimatación y se transfiere el sobrenadante a medio líquido nuevo (Tavčar et al., 2006). Los inóculos pueden ser guardados a 4°C el tiempo necesario hasta su paso al biorreactor (Gaviria-Arroyave et al., 2018).

Han sido estudiados multitud de biorreactores varios ejemplos son: biorreactores en columna con aireación (Gaviria-Arroyave et al., 2018), biorreactor de discos en rotación (Cruz del Álamo et al., 2020), biorreactor de lecho fijo con goteo (Tavčar et al., 2006), biorreactor de tanque agitado (Zhong, 2010), biorreactor de tambor giratorio (Beltrán-Flores et al., 2020).

En la figura 3 se observa un tipo de reactor de discos rotatorios, RDR (Rotating Discs Reactor).

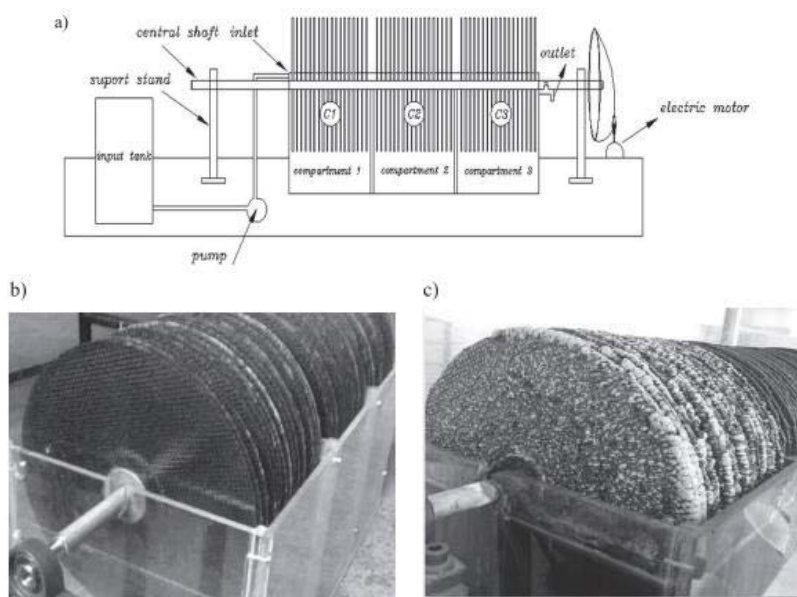


Figura 3 a) Diagrama de un Reactor de Discos Rotatorios (RDR, Rotation Discs Reactor), b) Reactor antes de su puesta en funcionamiento, c) Reactor ya usado donde se aprecia el crecimiento de una biopelícula, en este caso de un consorcio de microorganismos. (Azimi, Hassani, Darzi, & Borghei, 2017)



El hongo suele estar fijado a algún tipo de soporte que puede ser de naturaleza orgánica o de naturaleza plástica.

Como soportes orgánicos destaca el uso de plantas como por ejemplo *Luffa cylindrica* (L.) M. Roemer, una planta perteneciente a la familia de las cucurbitáceas, conocida comúnmente como lufas (Laraib et al., 2020), y que destaca por tener un interior muy alveolado (figura 4). También es muy frecuente el uso de virutas o restos de madera sobre los que se desarrolla el hongo (Beltrán-Flores et al., 2020).

La utilización de soportes plásticos es muy común y destaca el uso de discos (figura 3) o cubos de poliuretano (Gómez-Bertel et al., 2008; Tavčar et al., 2006). Los soportes plásticos son más duraderos y de manejo más sencillo mientras que los soportes orgánicos parecen ser más efectivos (Laraib et al., 2020).

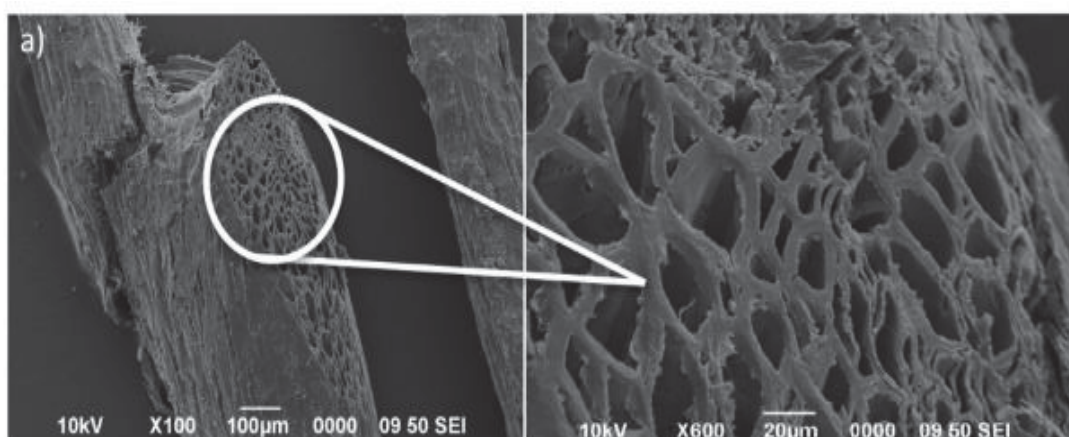


Figura 4 Interior alveolado de *Luffa cylindrica* en estado natural (Fernandes et al., 2020).

El hongo tiene que estar irrigado por el agua contaminada, se han estudiado varias formas sin llegar a ningún consenso sobre cuál es la más adecuada. Lo más conveniente parece ser que es el flujo continuo de agua (Tavčar et al., 2006). Lo más común es que haya algún tipo de aireación normalmente por movimiento del hongo sobre el agua, como en el caso de los biorreactores de discos rotatorios (Cruz del Álamo et al., 2020) donde el 30% del disco está sumergido y el 70% aireado, mismo caso en los reactores de tambor giratorio donde el 30% de las virutas de madera están sumergidas y el 70% aireadas (Beltrán-Flores et al., 2020), también se han estudiado otros métodos de aireación como la “air lift” donde el gas es inyectado desde la parte de abajo a través del lecho al cual está fijado el hongo (Tavčar et al., 2006).

Se observa el crecimiento de bacterias cuando se usa agua no estéril de efluentes, aun así las comunidades fúngicas dominan (Beltrán-Flores et al., 2020) y el uso combinado de hongos y bacterias se ha demostrado eficaz (Beltrán-Flores et al., 2020). También es importante señalar que una parte importante de la decoloración se produce en un primer momento por bioadsorción y luego, por biodegradación (Blánquez et al., 2004). Se ha demostrado que las comunidades fúngicas se mantienen activas y viables en los biorreactores incluso hasta 60 días aunque también se advierte que en algunos

biorreactores el micelio puede crecer excesivamente hasta suponer un problema (Tavčar et al., 2006).

A continuación, se muestran una serie de hongos que han demostrado ser efectivos en la decoloración de colorantes azo bajo unas condiciones similares a las descritas anteriormente. La siguiente tabla (tabla 1) no tiene como fin comparar sino solamente mostrar que existen diferencias en la capacidad de biorremediación dentro de los hongos lignolíticos\*. Se ha de tener en cuenta que cada estudio se ha realizado con unas condiciones distintas pero similares, de ahí que el mismo hongo pueda tener diferencias en el porcentaje de degradación.

Tabla 1. Recopilación de una serie de hongos y sus porcentajes de degradación en algunos colorantes. Elaboración propia.

Hongo	Colorante	Degradación	Referencias
<i>Trametes versicolor</i>	Grey Lanaset G	90%	(Blánquez et al., 2004)
	Reactive Black 5	99.5%	(Borchert & Libra, 2001)
	Remazol Red 198	99%	
	Remazol Brilliant Blue R	98%	
	Congo Red	75%	(Cano et al., 2017)
	Poly R-478	80%	(Sen et al., 2016)
<i>Cunninghamella elegans</i>	Reactive Red 198	93%	(Ambrósio et al., 2012)
<i>Polypirus sp.</i>	Reactive Blue 252	60%	(Abadulla et al., 2000)
<i>Irpex lacteus</i>	Reactive Orange 16	90%	(Tavčar et al., 2006)
<i>Aspergillus terreus</i> *	Congo Red	97%	(Laraib et al., 2020)
<i>Bjerkandera sp.</i>	Sulfur black 1 & Indigo Vat blue 1	60%	(Gaviria-Arroyave et al., 2018)
<i>Pleurotus sajor-caju</i>	Congo Red	95%	(Yehia & S. Rodriguez-Couto, 2017)
<i>Phanerochaete chrysosporium</i> & <i>Phanerochaete sordida</i>	Orange II	98%	(Cardona et al. , 2009)

\* *Aspergillus* no es un hongo lignolítico al uso porque aunque vive sobre materia vegetal en descomposición es un hongo filamentoso que se clasifica dentro de los mohos.

## 5. Discusión

Los hongos lignolíticos se alzan como una de las soluciones ante la contaminación de efluentes industriales ya que sus capacidades para degradar colorantes son excelentes.

Es una tecnología prometedora pero todavía en desarrollo cuyo mayor inconveniente es el tiempo que se tarda en degradar los colorantes y la infraestructura requerida.

Tratar los efluentes industriales es algo sumamente necesario en la actualidad pero que se torna indispensable en el futuro por lo que el desarrollo de tecnologías sostenibles como el uso de hongos es de suma importancia ante la sobrepoblación que ya estamos viviendo y ante la falta de recursos que se prevé en un futuro (Organización de Naciones Unidas, 2019). En 1999 la ONU estimaba que para el 2050 habría cerca de 9000 millones de personas (United Nations, 1999), en el 2019 aumentó su previsión a cerca de 10000 millones de personas (Organización de Naciones Unidas, 2019) así que parece lógico creer que las previsiones que hagamos sobre el uso de recursos y el avance tecnológico se van a quedar cortas ya que no se han desarrollado medidas que mitiguen el aumento de la población.

Se ha de tener en cuenta que las zonas donde destaca especialmente la producción de productos textiles son normalmente en países con estados más débiles o leyes más laxas respecto a la protección del medio ambiente y el uso del agua (United Nations, 2005) por lo tanto la implementación de tecnología, aunque sea más sostenible, podría ser más difícil.

Hay que capitalizar este problema de contaminación más allá de donde se genera, no cabe esperar que por muy beneficiosa que sea la tecnología si disminuye drásticamente la producción o incluso si no va acompañada de un aumento de producción se pueda implementar satisfactoriamente.

Si el costo es muy alto será muy difícil la hegemonización de la industria sostenible. Esta tecnología está todavía en desarrollo pero ya se ha demostrado eficaz y viable (Cruz del Álamo et al., 2020).

## 6. Conclusiones

Los hongos lignolíticos han sido estudiados por sus excelentes capacidades biodegradativas ya que su sistema enzimático les permite metabolizar compuestos difíciles de degradar para otros organismos, como la lignina y la celulosa. Es este potente sistema enzimático lo que les permite degradar multitud de contaminantes. Se está desarrollando tecnología que permita su aplicación en efluentes textiles contaminados. Esta tecnología todavía tiene problemas, principalmente el tiempo y la infraestructura necesaria, pero es muy prometedora. Estos problemas hacen que su hegemonización en la industria se torne complicada y conflictiva, ya que al no aportar ningún beneficio productivo a la empresa su implantación queda en manos de la legislación. Los biorreactores más eficaces parecen ser los de discos rotatorios que, si bien no son los más rápidos tienen menos problemas a largo plazo. Quizá para que esta tecnología se asiente en el futuro sea necesario aumentar la decolorización al máximo para poder reutilizar el agua en un ciclo cerrado dentro de la fábrica ya que esto sí tendría un beneficio económico para las empresas a medio plazo.

## Conclusións

Os fungos lignolíticos téñense estudiado polas súas excelentes capacidades biodegradativas xa que o seu sistema encimático lles permite metabolizar compostos moi difíciles de degradar para outros organismos, como a lignina e a celulosa. É este potente sistema encimático o que lles permite degradar multitude de contaminantes. Estase desenvolvendo tecnoloxía que permita a súa aplicación en efluentes téxtiles contaminados. Esta tecnoloxía inda ten problemas, principalmente o tempo e as infraestruturas necesarias, pero é moi prometedora. Estes problemas fan que a súa hexemonización na industria sexa complicada e conflitiva, xa que o non aportar ningún tipo de beneficio produtivo á empresa a súa implantación depende da lexislación. O biorreactor máis eficaz parece ser o de discos rotatorios que, inda que non son os máis rápidos, teñen menos problemas a longo prazo. Tal vez, para que esta tecnoloxía se asente nun futuro comprería aumentar o grado de decolorización ó máximo para poder reutilizar a auga nun ciclo cerrado dentro das fabricas xa que isto si que tería un beneficio económico para a empresa a medio prazo.

## Conclusions

Lignolytic fungi have been studied for their excellent biodegradative capabilities because their enzyme system allows them to metabolize compounds that are difficult to degrade for other organisms, such as lignin and cellulose. It is this powerful enzyme system what allows them to degrade a multitude of contaminants. Technology is being developed to enable its application in

contaminated textile effluents. This technology still has problems, mainly the time and infrastructure needed, but it is very promising. These problems make its hegemonization in the industry complicated and conflicting because this technology is not providing any productive benefit to the company, so the implementation of this technology depends on the legislation. The most effective bioreactor appears to be rotating discs reactors which, while not the fastest, have fewer long-term problems. Perhaps what this technology needs to settle in the future is to increase discoloration to the maximum so the textile companies can have a closed water cycle and thus have an economic benefit for the company in the medium term.

### **Agradecimientos:**

A todos los compañeros y compañeras, que han pasado de extraños a amigos de corazón, por haber hecho de la convivencia diaria una motivación apasionante y un descubrimiento y crecimiento personal constante, a todos mis profesores y profesoras por haberme ayudado y guiado cuando fue necesario y especialmente a mis amigos y amigas que me han ayudado y soportado moralmente durante estos cuatro años. A todos y a todas: gracias, tanto por vuestros consejos más básicos como por los más ácidos.



## 7. Bibliografía

### Webs consultadas:

The Plant List, 2020.

<http://www.theplantlist.org/tpl1.1/record/kew-2338909> (revisado 12/07/2020)

Cyril Villemain (United Nations), 2019. "El costo ambiental de estar a la moda"

<https://news.un.org/es/story/2019/04/1454161> (revisado el 02/07/2020)

asturnatura.com "Trametes versicolor (L.) Lloyd". Asturnatura.com [en línea]. Num. 95, 10/10/06 [revisado el: 07/08/2020]. Disponible en: <https://www.asturnatura.com/especie/trametesversicolor.html> ISSN 1887-5068.

### Artículos:

Abadulla, E., Robra, K. H., Gübitz, G. M., Silva, L. M., & Cavaco-Paulo, A. (2000). Enzymatic Decolorization of Textile Dyeing Effluents. *Textile Research Journal*, Vol. 70, pp. 409–414. <https://doi.org/10.1177/004051750007000506>

Ambrósio, S. T., Júnior, J. C. V., Da Silva, C. A. A., Okada, K., Nascimento, A. E., Longo, R. L., & Campos-Takaki, G. M. (2012). A biosorption isotherm model for the removal of reactive azo dyes by inactivated mycelia of *cunninghamella elegans* UCP542. *Molecules*, 17(1), 452–462. <https://doi.org/10.3390/molecules17010452>

Asadi, E., Makhdoumi, A., & Asodeh, A. (2020). Laccase mediator system obtained from a marine spore exhibits decolorization potential in harsh environmental conditions. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 191(January), 110184. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110184>

Azimi, N., Hassani, A. H., Darzi, G. N., & Borghei, S. M. (2017). Biodegradation of wastewater containing high concentration of sulfamethoxazole by antibiotic adopted biofilm in attached growth bioreactor. *Polish Journal of Environmental Studies*, 26(6), 2463–2469. <https://doi.org/10.15244/pjoes/67686>

Balan, D. S. L., & Monteiro, R. T. R. (2001). Decolorization of textile indigo dye by ligninolytic fungi. *Journal of Biotechnology*, 89(2–3), 141–145. [https://doi.org/10.1016/S0168-1656\(01\)00304-2](https://doi.org/10.1016/S0168-1656(01)00304-2)

Beltrán-Flores, E., Torán, J., Caminal, G., Blánquez, P., & Sarrà, M. (2020). The removal of diuron from agricultural wastewaters by *Trametes versicolor* immobilized on pinewood in simple channel reactors. *Science of the Total Environment*, 728. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138414>

Benkhaya, S., M'rabet, S., & El Harfi, A. (2020). Classifications, properties, recent synthesis and applications of azo dyes. *Heliyon*, 6(1). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03271>

Bilińska, L., Gmurek, M., & Ledakowicz, S. (2016). Comparison between industrial and simulated textile wastewater treatment by AOPs – Biodegradability, toxicity and cost assessment. *Chemical Engineering Journal*, 306, 550–559. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.07.100>

Blánquez, P., Casas, N., Font, X., Gabarrell, X., Sarrà, M., Caminal, G., & Vicent, T. (2004). Mechanism of textile metal dye biotransformation by *Trametes versicolor*. *Water Research*, 38(8), 2166–2172. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2004.01.019>

Borchert, M., & Libra, J. A. (2001). Decolorization of reactive dyes by the white rot fungus *Trametes versicolor* in sequencing batch reactors. *Biotechnology and Bioengineering*, 75(3), 313–321. <https://doi.org/10.1002/bit.10026>

- Cano, M., Castorena, J. H., Santiago, V., Ariza, J. A., & Cervantes, L. A. (2017). Comparative study of removal of bromocresol green and congo red between *Sechium edule* and *Trametes versicolor*. *Avances En Ciencias e Ingeniería*, 8(1), 1–7.
- Cardona, M., Osorio, J., & Quintero, J. (2009). Degradación de colorantes industriales con hongos ligninolíticos. *Revista Facultad de Ingeniería*, (48), 27–37.
- Cruz del Álamo, A., Pariente, M. I., Martínez, F., & Molina, R. (2020). *Trametes versicolor* immobilized on rotating biological contactors as alternative biological treatment for the removal of emerging concern micropollutants. *Water Research*, 170. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.115313>
- Cui, M. H., Cui, D., Gao, L., Cheng, H. Y., & Wang, A. J. (2016). Efficient azo dye decolorization in a continuous stirred tank reactor (CSTR) with built-in bioelectrochemical system. *Bioresource Technology*, 218, 1307–1311. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.07.135>
- Elisangela, F., Andrea, Z., Fabio, D. G., de Menezes Cristiano, R., Regina, D. L., & Artur, C. P. (2009). Biodegradation of textile azo dyes by a facultative *Staphylococcus arlettae* strain VN-11 using a sequential microaerophilic/aerobic process. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 63(3), 280–288. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2008.10.003>
- Espinoza, I., Sandoval-Pauker, C., Guerrero, L. R., Jentzsch, P. V., & Bisesti, F. M. (2020). Fenton process combined with precipitation for the removal of Direct Blue 1 dye: A new approach. *Journal of the Serbian Chemical Society*, 85(4), 547–558. <https://doi.org/10.2298/JSC190804119E>
- Fernandes, C. D., Nascimento, V. R. S., Meneses, D. B., Vilar, D. S., Torres, N. H., Leite, M. S., ... Romanholo Ferreira, L. F. (2020). Fungal biosynthesis of lignin-modifying enzymes from pulp wash and *Luffa cylindrica* for azo dye RB5 biodecolorization using modeling by response surface methodology and artificial neural network. *Journal of Hazardous Materials*, 399(June). <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123094>
- Gaviria-Arroyave, M. I., Osorio-Echavarría, J., & Gómez-Vanegas, N. A. (2018). Evaluating the scale-up of a reactor for the treatment of textile effluents using *Bjerkandera* sp. *Revista Facultad de Ingeniería*, (88), 80–90. <https://doi.org/10.17533/UDEA.REDIN.N88A09>
- Gómez-Bertel, S., Amaya-Bulla, D., Maldonado-Saavedra, C., Martínez-Salgado, M. M., Quevedo-Hidalgo, B., Soto-Guzmán, A. B., & Pedroza-Rodríguez, A. M. (2008). Evaluación de tres hongos lignolíticos y de *Aspergillus niger* como alternativa para el tratamiento de aguas residuales del curtido de pieles. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 24(3), 93–106.
- Gupta, V. K., Khamparia, S., Tyagi, I., Jaspal, D., & Malviya, A. (2015). Decolorization of mixture of dyes: A critical review. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 1(1), 71–94. <https://doi.org/10.7508/gjesm.2015.01.007>
- Gutiérrez, M. C. L. V. G. (2006). Estudio de la degradación de un colorante azo rojo reactivo en un biorreactor anaerobio de flujo ascendente. *Instituto Tecnológico de Celaya*, 237.
- Jurado, M., Martín, T., Martínez, M. J., & Saparrat, M. C. N. (2011). Application of White-Rot Fungi in Transformation, Detoxification, or Revalorization of Agriculture Wastes: Role of Laccase in the Processes. In *Comprehensive Biotechnology, Second Edition* (Second Edition, Vol. 6). <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-088504-9.00398-6>
- Laraib, Q., Shafique, M., Jabeen, N., Naz, S. A., Nawaz, H. R., Solangi, B., ... Sohail, M. (2020). *Luffa cylindrica* Immobilized with *Aspergillus terreus* QMS-1: an Efficient and Cost-Effective Strategy for the Removal of Congo Red using Stirred Tank Reactor. *Polish Journal of Microbiology*, 69(2), 193–203. <https://doi.org/10.33073/pjm-2020-022>
- Levin, L., Papinutti, L., & Forchiassin, F. (2004). Evaluation of Argentinean white rot fungi for their ability to produce lignin-modifying enzymes and decolorize industrial dyes. *Bioresource Technology*, 94(2), 169–176. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2003.12.002>

- Luna, A., & Angel, M. (2001). *Análisis del Cluster Textil en el Perú*. UNMSM (National University of San Marcos). Lima, el Perú.
- Marcano, D. (2018). *Introducción a la química de los colorantes*. Caracas, Venezuela: Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales.
- Martins, M. A. M., Lima, N., Silvestre, A. J. D., & Queiroz, M. J. (2003). Comparative studies of fungal degradation of single or mixed bioaccessible reactive azo dyes. *Chemosphere*, 52(6), 967–973. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(03\)00286-8](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(03)00286-8)
- Organización de Naciones Unidas. (2019). Comunicado de prensa: Perspectivas de la población mundial 2019. *United Nations Department of Public Information, 2050*, 1–4. Retrieved from [https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019\\_PressRelease\\_ES.pdf](https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_PressRelease_ES.pdf)
- Page, C., & Püntener, A. (2012). European Ban on Certain Dyes. *TFL*, 5. Retrieved from <https://web.archive.org/web/20120813054055/http://www.tfl.com/web/files/eubanzodyes.pdf>
- Pezzella, C., Macellaro, G., Sannia, G., Raganati, F., Olivieri, G., Marzocchella, A., ... Piscitelli, A. (2017). Exploitation of *Trametes versicolor* for bioremediation of endocrine disrupting chemicals in bioreactors. *PLoS ONE*, 12(6), 1–12. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178758>
- Plumb, J. J., Bell, J., & Stuckey, D. C. (2001). Microbial Populations Associated with Treatment of an Industrial Dye Effluent in an Anaerobic Baffled Reactor. *Applied and Environmental Microbiology*, 67(7), 3226–3235. <https://doi.org/10.1128/AEM.67.7.3226-3235.2001>
- Qu, Y., Shi, S., Ma, F., & Yan, B. (2010). Decolorization of Reactive Dark Blue K-R by the synergism of fungus and bacterium using response surface methodology. *Bioresource Technology*, 101(21), 8016–8023. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.05.025>
- Ren, Z., Chen, F., Wang, B., Song, Z., Zhou, Z., & Ren, D. (2019). Magnetic biochar from alkali-activated rice straw for removal of rhodamine B from aqueous solution. *Environmental Engineering Research*, 25(4), 536–544. <https://doi.org/10.4491/eer.2019.232>
- Sen, S. K., Raut, S., Bandyopadhyay, P., & Raut, S. (2016). Fungal decolouration and degradation of azo dyes: A review. *Fungal Biology Reviews*, 30(3), 112–133. <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2016.06.003>
- Tavčar, M., Svobodová, K., Kuplenk, J., Novotný, Č., & Pavko, A. (2006). Biodegradation of azo dye RO16 in different reactors by immobilized *Irpeix lacteus*. *Acta Chimica Slovenica*, 53(3), 338–343.
- Thakur, J. K., Paul, S., Sinha, N. K., & Rath, M. S. (2018). Optimization of factors affecting decolourization of sulphonated azo dye Red HE7B in vitro by *Bacillus* sp. Azo1. *Current Science*, 115(3), 505–509. <https://doi.org/10.18520/cs/v115/i3/505-509>
- United Nations. (1999). The world at six billion. Part 1 - Introduction and Table 1-4. *United Nations Publication*, (October 1999), 1–11. <https://doi.org/ESA/P/WP.154>
- United Nations. (2005). World Investment Report 2005. United Nations Conference on Trade and Development: TNCs and the Removal of Textiles and Clothing Quotas. *United Nations Publication*, 36(8), 1291–1293. Retrieved from [https://unctad.org/en/docs/iteiia20051\\_en.pdf%0Ahttp://unctad.org/en/Docs/wir2005\\_en.pdf](https://unctad.org/en/docs/iteiia20051_en.pdf%0Ahttp://unctad.org/en/Docs/wir2005_en.pdf)
- Vikrant, K., Giri, B. S., Raza, N., Roy, K., Kim, K. H., Rai, B. N., & Singh, R. S. (2018). Recent advancements in bioremediation of dye: Current status and challenges. *Bioresource Technology*, 253(January), 355–367. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.01.029>
- Waghmode, T. R., Kurade, M. B., & Govindwar, S. P. (2011). Time dependent degradation of

mixture of structurally different azo and non azo dyes by using *Galactomyces geotrichum* MTCC 1360. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 65(3), 479–486. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2011.01.010>

Wu, J. wen, Wu, C. rong, Zhou, C. shuang, Dong, L. li, Liu, B. feng, Xing, D. feng, ... You, S. jie. (2020). Fate and removal of antibiotic resistance genes in heavy metals and dye co-contaminated wastewater treatment system amended with  $\beta$ -cyclodextrin functionalized biochar. *Science of the Total Environment*, 723, 137991. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137991>

Zhong, J. J. (2010). Recent advances in bioreactor engineering. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 27(4), 1035–1041. <https://doi.org/10.1007/s11814-010-0277-5>